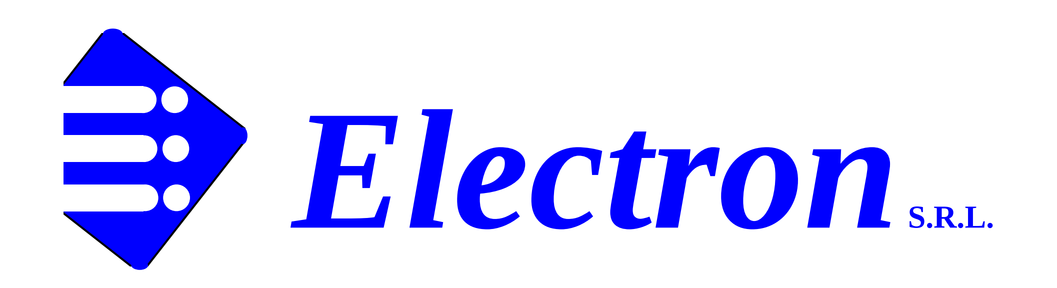


Design
Production &
Trading of
Educational
Equipment

B4330-P – UNITE DIDACTIQUE MODULATION DELTA

MANUEL D'INSTRUCTIONS

09/1993

CONTENTS

1 - MODULATION DELTA, Révision des concepts de base

Généralités

Les données expérimentales et les fonctions mathématiques sont souvent affichées comme des **courbes continues** même si un nombre fini de **points discrets** à été utilisé pour construire le graphique. Si ces points discrets, ou échantillons, ne sont pas trop distants, une courbe continue peut être dessinée, et les valeurs intermédiaires peuvent être interpolées à un degré raisonnable de précision.
On peut pourtant dire que l'affichage continu est convenablement décrit par les points d'échantillonnage seuls.

De la même manière, un signal électrique répondant à certaines conditions peut être reproduit entièrement à partir d'un ensemble approprié d'échantillons instantanés. Si tel est le cas, et théorie de l'échantillonnage nous dira les conditions nécessaires, nous avons besoin de transmettre seulement les valeurs des échantillons tels qu'ils se présentent au lieu d'envoyer un signal continu. Ceci est la **modulation d'impulsions**.

La principale distinction entre la modulation d'impulsions et la modulation d'une onde porteuse est la suivante: Dans la modulation d'une onde porteuse, quelque paramètre de l'onde modulée varie de façon continue avec le message; dans la modulation d'impulsions, quelque paramètre de chaque impulsion est modulé par un échantillon particulier du message. D'habitude les impulsions sont tout à fait courtes comparées à l'intervalle de temps entre elles, et donc une onde d'impulsions modulés est "off" la plupart du temps.

En raison de cette propriété, la modulation d'impulsions offre deux avantages potentiels sur la modulation CW. D'abord, la puissance transmise peut être concentrée dans des bursts courts plutôt que d'être délivrée de façon continue. Cela donne à l'ingénieur de système des majeures possibilités de choix des équipements, puisque certain dispositifs, comme les tubes à micro-onde de haute puissance et les lasers, sont utilisables seulement par impulsions.
Deuxièmement, les intervalles de temps entre les impulsions peuvent être remplis des valeurs des échantillons d'autres messages, de ce fait permettant la transmission de beaucoup de messages sur un système de communications. Tel multiplexage dans le domaine temporel est connu comme **multiplexage temporel** (TDM).

Une autre distinction entre la modulation d'impulsions et CW est que l'onde d'impulsions peut contenir un appréciable contenu de signal continu et de basse fréquence. Une efficace transmission pourtant implique une deuxième opération, c'est à dire la Modulation CW, pour fournir une complète transposition en fréquence. Dans ce contexte, la modulation d'impulsions est une technique **de traitement des messages** plutôt que de modulation dans le sens habituel du terme. En fait, l'utilisation la plus courante de la modulation d'impulsions est le traitement des messages pour le TDM.

Il y a deux types fondamentaux de modulation d'impulsions: **analogique**, comme amplitude d'impulsion, largeur d'impulsion position d'impulsion, qui est similaire à la modulation linéaire, et **numérique** ou modulation d'impulsions **codés**, qui n'a pas d'équivalent CW.

Dans la série d'unités didactiques B43, le panneau B4310A traite du premier type de modulation, tandis qu'autres panneaux, le B4310B (PCM) et le B4330 (Modulation Delta), traitent des types spécifiques de modulation par impulsions codés.

Pour les deux types de communication par impulsions, l'opération clé consiste à extraire les valeurs des échantillons de la forme d'onde du message. Nous allons donc commencer notre révision de la théorie de ce point.

Echantillonnage

Considérons le simple circuit de la Fig.1A. Le commutateur périodiquement se déplace entre les deux contacts à la **fréquence d'échantillonnage f_S**. L'intervalle de temps entre deux impulsions successifs d'échantillonnage est la **période d'échantillonnage $T_S = 1/f_S$.**
Le temps pour lequel le contact reste en position ON est indiquée par T.

La figure 1B montre le motif de la forme d'onde résultante: la forme d'onde d'origine apparaît "hachée" au taux de fonctionnement du commutateur, mais encore "substantiellement reconnaissable". Nous étudierons plus tard quelles sont les conditions pour s'assurer que le contenu d'information du signal original n'est pas perdu.

Bande passante et spectres

Il apparaît clairement de la Fig. 1B que la présence d'impulsions avec arêtes vives dans le signal de sortie implique que le spectre du signal échantillonné est beaucoup plus grand que l'original et pourtant le canal de transmission devra avoir une bande passante beaucoup plus grande de celle nécessaire pour le signal original.
Heureusement les supports de transmission à large bande deviennent de plus en plus accessibles (micro-ondes, laser, fibres optiques etc.) et aussi, le «gaspillage" de bande passante inhérent aux systèmes de modulation d'impulsions est équilibré par d'autres avantages de cette technique, comme on verra plus tard.

L'opération effectuée par le commutateur s'appelle dans une variété de manières: commutation unipolaire, chopping unipolaire, etc. Un Ingénieur de la Communication dit que le commutateur effectue un "mixage non linéaire" du signal original avec une onde carrée de rapport cyclique bas.

La Figure 2A représente un spectre de fréquence possible pour notre signal original, limité en bande à f_M. Après le mixage non linéaire avec le signal carré à la fréquence d'échantillonnage f_S, le spectre deviendra celui de la Fig. 2B. L'enveloppe des composants du spectre est la courbe à cloche la bien connue, typique des spectres des ondes carrées.

Théorème de Shannon

C.E. Shannon est le père de la **Théorie de l'Information**. Le théorème qui porte son nom est aussi appelé le **théorème d'échantillonnage** et très en bref il établit deux conditions fondamentales pour la préservation du contenu d'information original d'un signal subissant un processus d'échantillonnage:

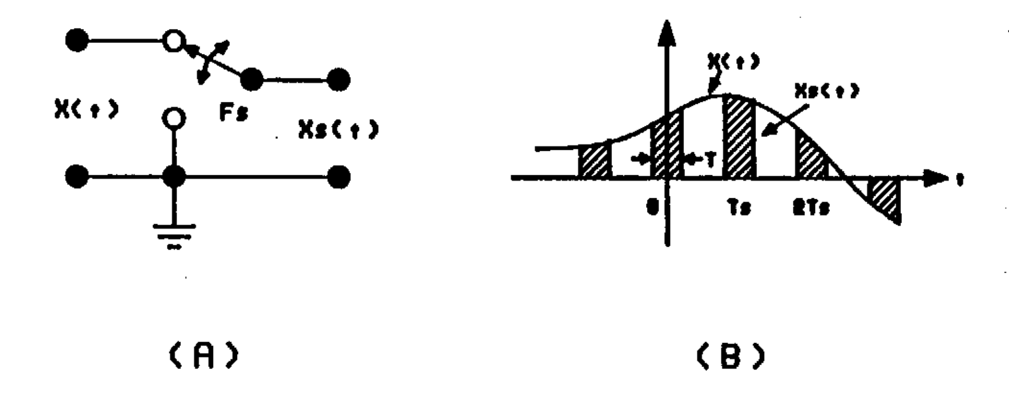


FIG.1 - THE PRINCIPLE OF SAMPLING AN ANALOGUE SIGNAL

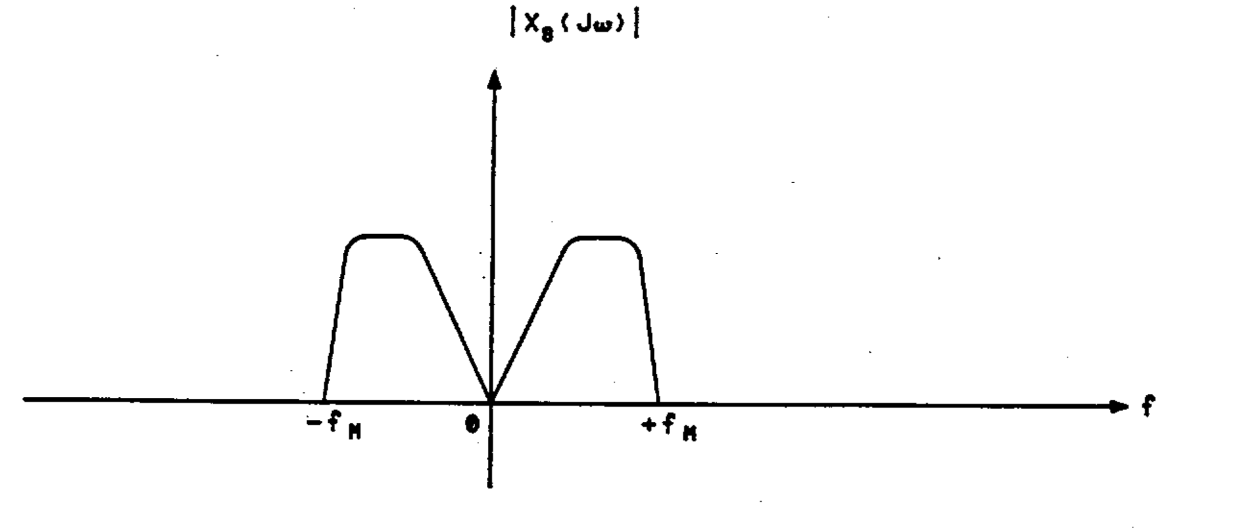


FIG.2A - FREQUENCY SPECTRUM OF THE ORIGINAL SIGNAL X(t) (EXAMPLE)

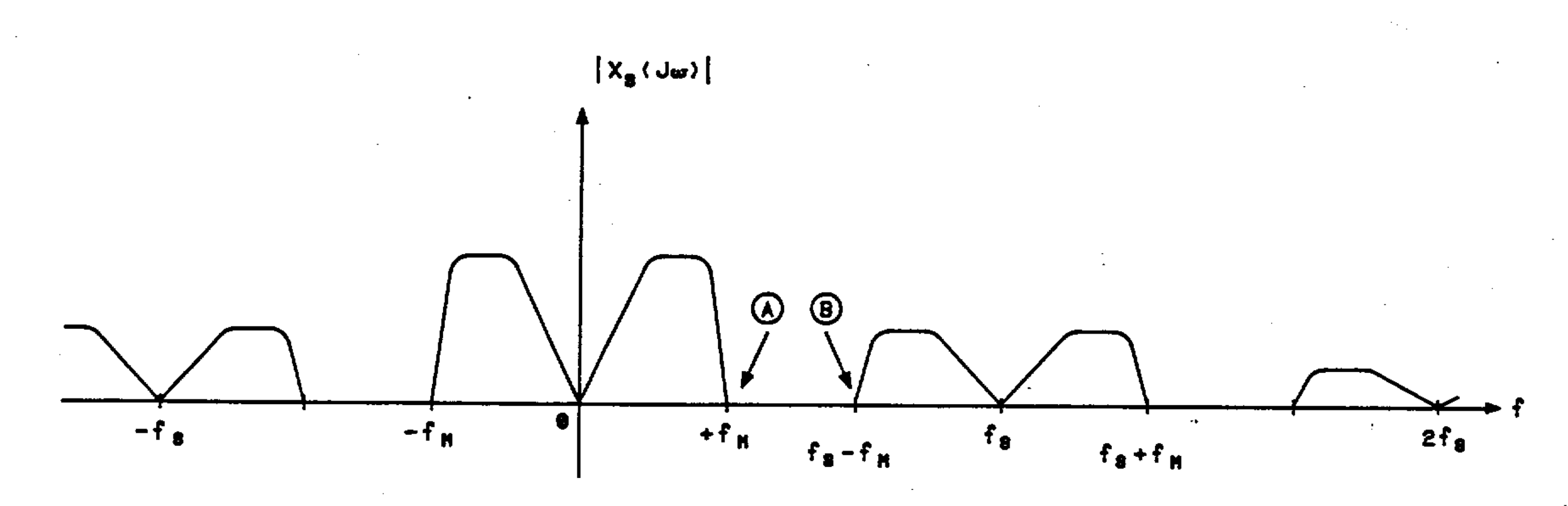


FIG.2B - SPECTRUM OF THE SIGNAL OBTAINED BY SAMPLING X(t) AT FREQUENCY f_s.
((A) AND (B) =TEXT REFERENCES)

- La largeur d'échantillonnage (T dans la Fig. 1B) doit être brève, tendant vers zéro.
- L'intervalle d'échantillonnage doit être tel que la fréquence d'échantillonnage ($f_s=1/T$) est au moins égale au double de la composante de fréquence maximale dans le spectre du signal original.

La seconde des deux conditions est la plus importante. Elle établit le taux d'échantillonnage minimum pour qu'un signal original donné soit correctement transmis ou, au contraire, étant donné un système d'échantillonnage à la fréquence fs, elle établit la composante de fréquence maximum transmissible pour le signal original.
Une démonstration de ce théorème implique des mathématiques lourdes et est au-delà de la portée de ce manuel. Une explication intuitive sera toutefois donnée dans le paragraphe suivant.

Le Fréquence de Nyquist

Le fréquence d'échantillonnage répondant aux conditions du paragraphe précédent s'appelle la **Fréquence de Nyquist**, nom d'un autre mathématicien qui a travaillé sur ce sujet.

Pour en comprendre le significat, observer la Fig. 2B dans laquelle nous supposons de diminuer graduellement la fréquence d'échantillonnage fs. Un point est atteint où A et B coïncident. En descendant encore, les deux portions du spectre tendent à se chevaucher et confondre. La reconstruction du signal ne sera pas possible à partir de ce moment-là.
La situation limite est où A et B coïncident, c'est à dire quand

$$fm = fs - fm \quad \text{ou} \quad fs = 2fm$$

Aliasing

Avec les mêmes arguments du paragraphe ci-dessus il est entendu que les signaux transmis sur un système d'échantillonnage DOIVENT être à bande limitée.
Un signal est d'habitude considéré à bande limitée quand le contenu en fréquence au dessus de fm (voir Fig. 2A) est faible et probablement sans importance pour transmettre l'information. Cette condition n'est pas suffisante quand l'échantillonnage est concerné puisque tout contenu en fréquence au dessus de fm générera inévitablement un chevauchement des composantes spectrales. Lors de la reconstruction, les fréquences qui à l'origine sont à l'extérieur da la bande nominale du message apparaîtront à la sortie sous la forme de fréquences beaucoup plus basses.

Ce phénomène de translation de fréquence vers le bas se produit quand une composante de fréquence est sous-échantillonnée, c'est-à-dire fs < 2fm, et on lui donne le nom de **aliasing**. L'effet de l'aliasing est beaucoup plus grave des fréquences parasites qui passent par filtres de reconstruction non idéaux, parce que ces dernières tombent à l'extérieur de la bande du message, alors que les composantes alias peuvent tomber dans la bande du message. Le filtrage du message autant que possible avant de l'échantillonnage et, si nécessaire, l'échantillonnage à fréquence beaucoup plus grande de la Fréquence nominale de Nyquist combattent l'Aliasing.

Un autre cause importante de distorsion dans les systèmes d'échantillonnage, liée au phénomène de l'Aliasing est que la première condition du Théorème de Shannon ne peut être respectée en pratique, puisque les systèmes réels fonctionnent avec impulsions d'échantillonnage de durée courte mais non nulle.
Cela signifie que le spectre du signal échantillonné sera différent du signal idéal de la Fig. 2B. En particulier des "queues" apparaîtront dans l'enveloppe originale en forme de cloche des amplitudes du spectre. (Pour comprendre cela, si nécessaire, réviser dans votre manuel de théorie les Spectres de Fourier pour les trains d'impulsions carrés de largeur différente).

Les queues se chevaucheront et généreront des "battements" indus lors de la reconstruction, avec un processus similaire à l'aliasing. En d'autres termes on peut dire que les signaux carrés utilisés pour l'échantillonnage contiennent des harmoniques qui interfèrent avec le signal échantillonné, produisant des termes de basse fréquence non désirés.

En PCM l'amplitude de chaque échantillon du message original est codé dans un nombre binaire, normalement un nombre à 8-bits, qui est puis transmis comme une séquence de "0" et "1", pour être enfin reçu et décodé.

En modulation Delta (DM) la longueur du nombre binaire est un mot à bit unique et l'algorithme de modulation est le suivant: à chaque instant d'échantillonnage un "1" est transmis si l'amplitude de l'échantillon dépasse l'amplitude du précédent échantillon, autrement un "0" est transmis.

En DPCM, chaque échantillon est comparé au précédent et la différence en amplitude est codé dans un nombre binaire (encore normalement un nombre à 8-bits), envoyé au récepteur.

MODULATION ANALOGIQUE D'IMPULSIONS: PAM, PWM et PPM

Si un message est convenablement décrit par les valeurs des échantillons, il peut être transmis par modulation analogique d'impulsions, où les valeurs des échantillons modulent directement un train d'impulsions périodiques avec une impulsion pour chaque échantillon. Il y a beaucoup de variétés de modulation analogiques d'impulsions et la terminologie n'a pas été normalisée. Toutefois, les trois types qu'on va examiner sont désignés d'habitude comme **modulation d'impulsion en amplitude (PAM), modulation de largeur d'impulsions (PWM) et modulation d'impulsions en position (PPM).** PWM et PPM sont aussi regroupés ensemble sous le titre général de **modulation d'impulsions en temps**.

La Figure 3 montre un message typique et la correspondante onde d'impulsions modulées. Pour plus de clarté, les impulsions sont montrées comme rectangulaires, et la durée des impulsions a été grossièrement exagérée.
De plus, les ondes réelles modulées sont légèrement retardées en temps comparé au message, puisque les impulsions ne peuvent pas être générées avant de les instants d'échantillonnage.

Comme montré dans la figure, le paramètre de l'impulsion modulée - amplitude, durée ou position relative – varie en proportion directe des valeurs des échantillons.

Modulation par impulsions codées: PCM, DM et DPCM

Les types de modulation mentionnés ci-dessus sont des représentations analogiques du message. La modulation par impulsions codées (PCM) est nettement différente dans le concept: C'est une modulation numérique dans laquelle le message est représenté par groupe codé d'impulsions numériques (d'amplitude discrète). La Modulation Delta (DM) et la modulation différentielle par impulsions codées (DPCM) sont des variations du PCM. Le raisonnement derrière la procédure de numérisation est le suivant.

En modulation analogique, le paramètre modulé varie de façon continue et peut prendre n'importe quelle valeur correspondante à la gamme du message. Quand l'onde modulée est falsifiée par le bruit, il n'existe aucun moyen pour le récepteur à discerner la valeur exacte transmise.
Supposer, toutefois, que le paramètre peut avoir seulement quelques valeurs discrètes; si la séparation entre ces valeurs est importante par rapport aux perturbations du bruit, ce sera une simple question de décider au niveau du récepteur précisément quelle valeur spécifique était prévue. Par conséquent l'effet du bruit aléatoire peut être virtuellement éliminé, ce qui est l'idée du PCM.

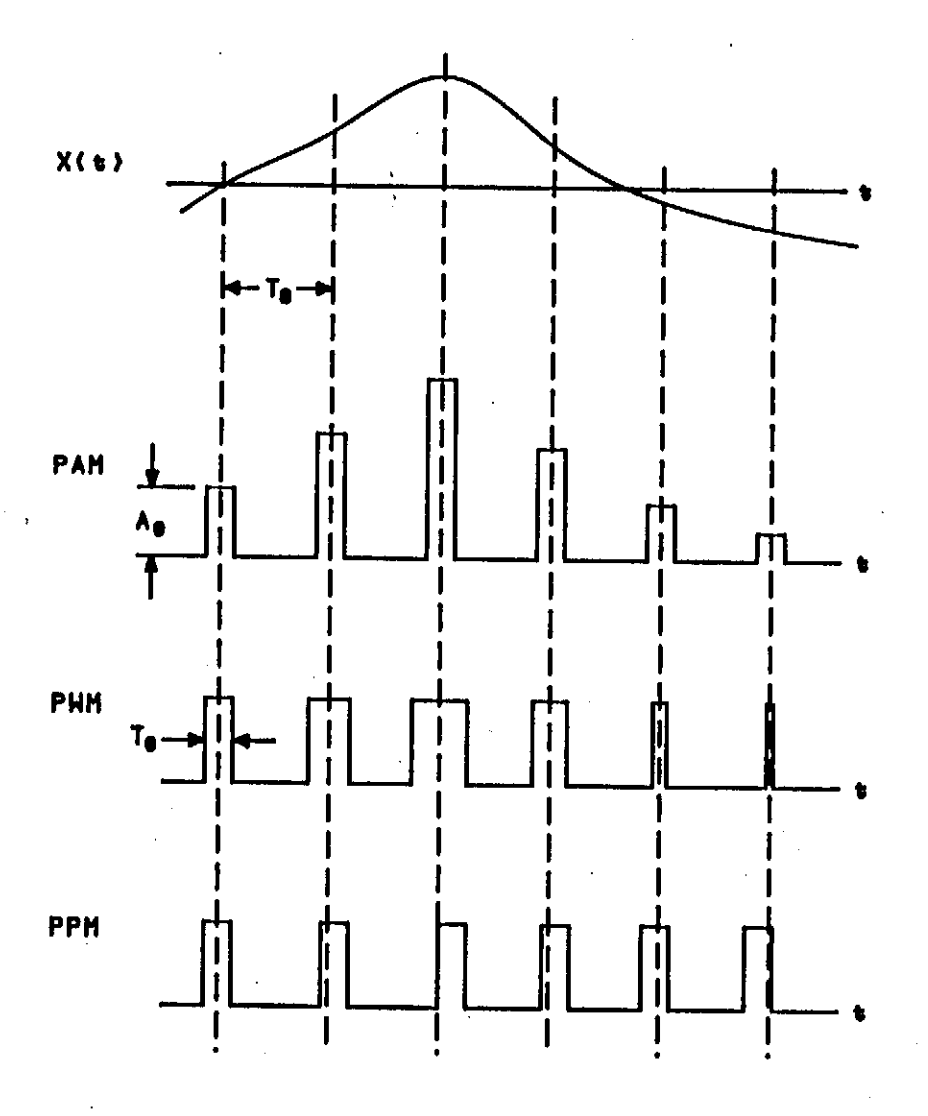


FIG.3 - TYPES OF ANALOG PULSE MODULATION.

Collatéral avec la propriété des amplitudes discrètes, les systèmes PCM longue distance peuvent employer des répétiteurs **régénérateurs**, obtenant ainsi un avantage supplémentaire sur tout forme de transmission analogique.

Le question se pose maintenant: comme peut-on représenter un message analogique en forme numérique? La réponse réside dans l'échantillonnage, la quantification et le codage.

Quantification et Codage

Les éléments pour la génération de la PM sont schématisés dans la Fig. 4A. Le signal continu est d'abord filtré (par un filtre passe-bas) et échantillonné.
Les valeurs des échantillons sont puis arrondies ou quantifiées à la valeur prédéterminée plus proche. Enfin un codeur convertit les échantillons quantifiés en MOTS NUMERIQUES appropriés, un mot de code pour chaque échantillon, et génère le correspondant signal PM de bande base comme une forme d'onde numérique.

L'entier procédé illustré dans la Fig. 4A prend le nom de CONVERSION ANALOGIQUE/NUMERIQUE. La Fig. 4B résume l'entier procédé sous une forme graphique.
Puisque plusieurs chiffres sont nécessaires pour chaque échantillon, il apparaît que la bande passante PCM est beaucoup plus grande que la bande passante du message.

Erreur de quantification et Bruit de quantification

Dans le processus de quantification, une ERREUR DE QUANTIFICATION inhérente est effectuée, parce-que chaque valeur d'échantillon est arrondie à la valeur du niveau de quantification plus proche disponible (voir la Fig. 4B). Pendant cette approximation, un élément d'information est inévitablement perdu et cela va rendre impossible dans le récepteur de reconstruire la valeur EXACTE de l'échantillon.
On reconstruit seulement des valeurs analogiques discrètes, qui sont de force approximées.

La Figure 5A représente le signal de sortie du convertisseur NUMERIQUE/ ANALOGIQUE d'un Récepteur PCM. Le signal apparaît comme une approximation en escalier du signal original. On peut dire que le signal reconstruit est le signal original avec un BRUIT DE QUANTIFICATION superposé. Il est clair que l'erreur de quantification et le bruit de quantification dans un système sont liés à la hauteur des marches de quantification ou, inversement, au nombre de niveaux de quantification disponibles pour représenter le message original.

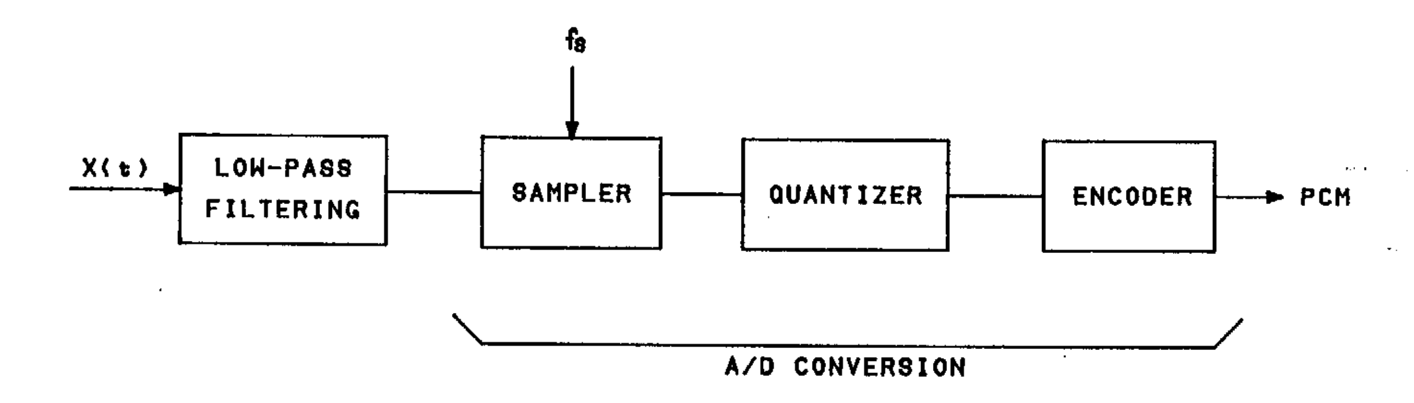


FIG.4A - PCM GENERATION SYSTEM

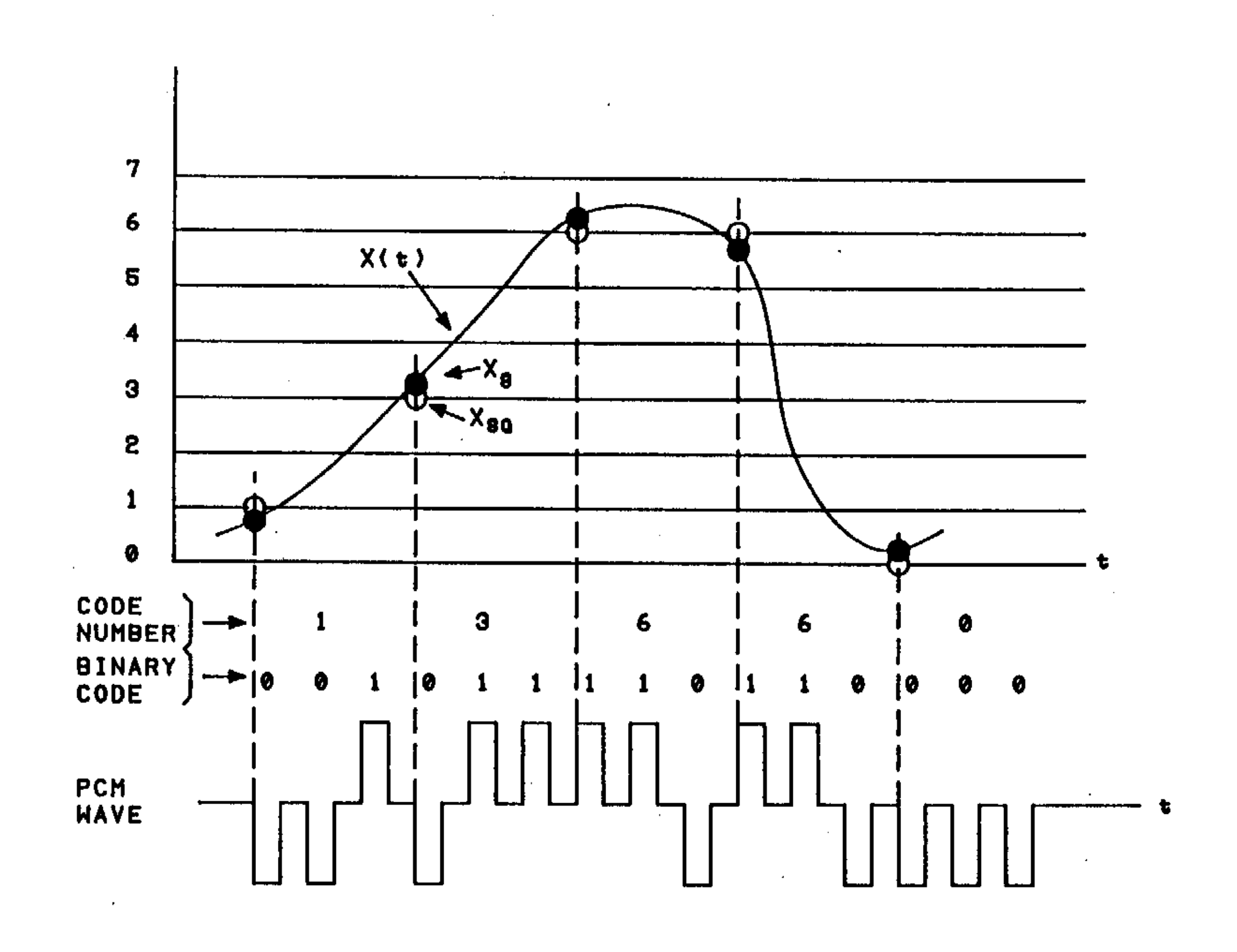
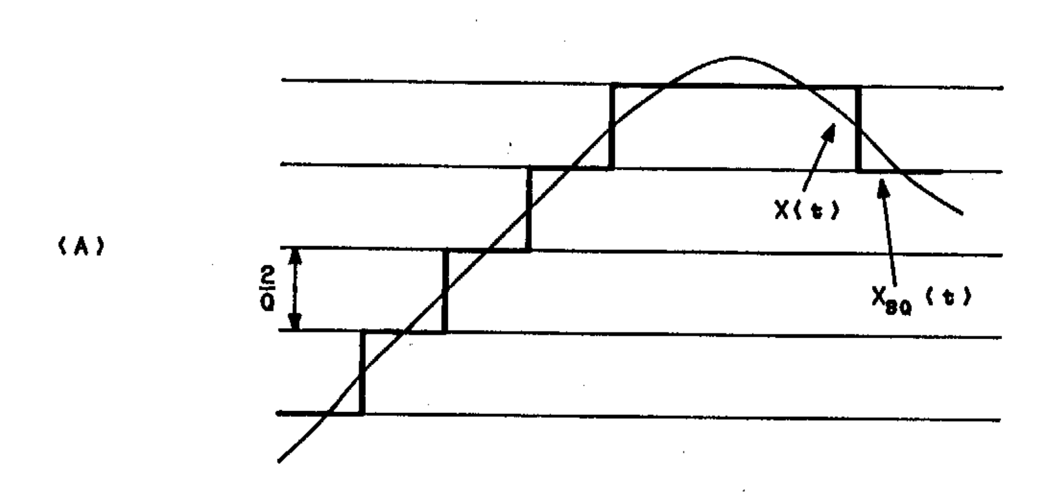


FIG.4B - GRAPHIC REPRESENTATION OF THE PROCESS OF PCM GENERATION

$X(t)$ =ORIGINAL MESSAGE
X_s =SAMPLED VALUES
X_{sq} =QUANTIZED VALUES



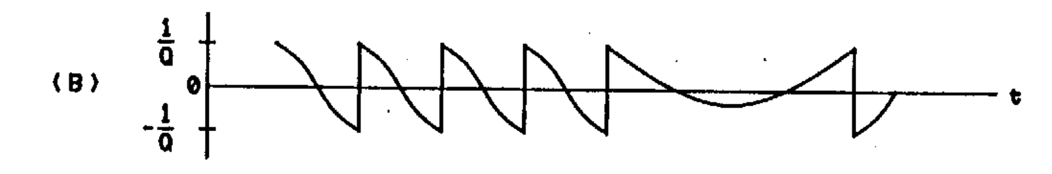


FIG.5 – (A) ORIGINAL MESSAGE (X(t)) AND STAIRLIKE APPROXIMATION (X_{SQ} (t))

(B) QUANTIZATION ERROR VS TIME (OR QUANTIZATION NOISE FOR RECEIVED MESSAGE)

Modulation Delta (DM)

La DM est une méthode de transmission qui offre, sur le PCM classique, l'avantage d'une relative simplicité de l'appareil, tant dans l'émetteur que dans le récepteur. Ce fait, avec d'autres caractéristiques de cette méthode (ce qui deviendra évident par la suite) est le raison de l'intérêt considérable donné ces derniers temps à cette technique.

Dans les systèmes PCM, chaque valeur de l'échantillon est codée dans une série de chiffres binaires. Chaque ensemble d'impulsions binaires donne des informations suffisantes pour permettre une évaluation de la valeur de l'échantillon quantifié correspondant. Le système pourtant n'a pas de mémoire. Avec la Modulation Delta, la connaissance de l'information antérieure est utilisée pour simplifier la technique de codage et le format du signal résultant. Le signal est d'abord quantifié en niveaux discrets, mais la dimension de chaque marche dans l'approximation en forme d'escalier à la fonction d'origine est tenue constante. Autrement dit, le signal quantifié est obligé à se déplacer par un seul niveau de quantification à chaque instant de transition.
L'emplacement des marches est contrôlé pour correspondre aux instants d'échantillonnage. Par conséquent, à chaque point d'échantillonnage la forme d'onde quantifiée doit augmenter d'une marche standard ou diminuer de la même quantité. Le signal quantifié doit changer à chaque point d'échantillonnage. Il n'est pas autorisé à rester constant depuis cela se traduirait en trois actions possibles, ce qui exclut la possibilité d'utiliser des techniques binaires de communication. Un exemple de ce processus de quantification est montré dans la Fig. 6.

Une fois l'opération de quantification est effectuée, la transmission du signal quantifié devient une question de communication binaire. Nous transmettons simplement une chaîne de 1's et 0's. Un 1 indique une transition positive, tandis que un 0 indique une transition négative. Le train de bits transmis pour l'exemple de la Fig. 6 serait alors

1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0

Un Modulateur Delta (codeur) peut être fabriqué en utilisant un générateur d'escalier et un comparateur. A chaque instant d'échantillonnage, la sortie du générateur est comparée à la forme d'onde d'entrée. Si l'entrée est plus grande que la fonction escalier, une marche positive est lancée. Si l'entrée est plus petite que l'escalier, on aura une marche négative. La Figure 7 montre un schéma-bloc du modulateur.

La figure suivante 8 montre le schéma-bloc d'un autre Modulateur DM, qui utilise un intégrateur à la place du générateur d'escalier. L'intégrateur produit un rapprochement en escalier du message original, dans lequel chaque marche vers le haut ou vers le bas est le résultat d'une impulsion d'entrée positive ou négative.

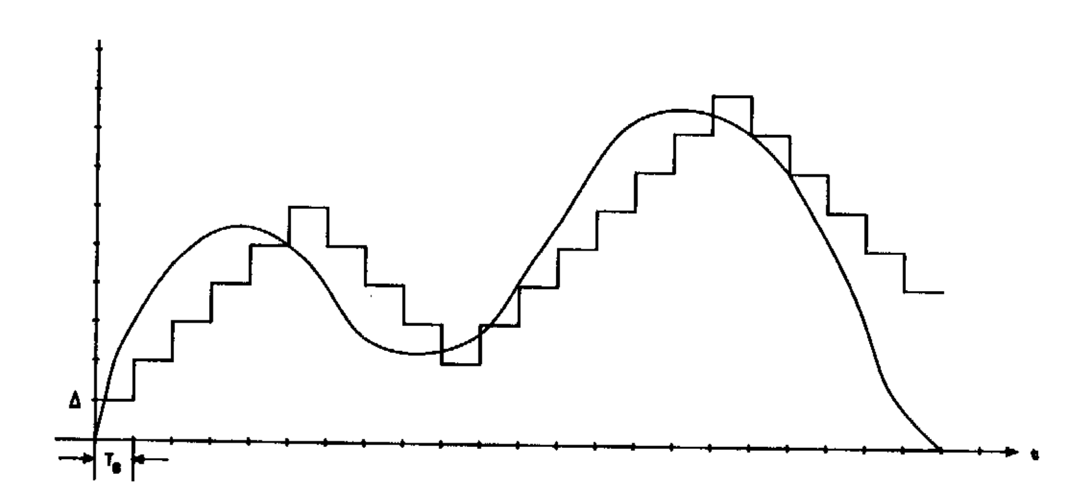


FIG.6 - EXAMPLE OF QUANTIZED SIGNAL FOR DELTA MODULATION

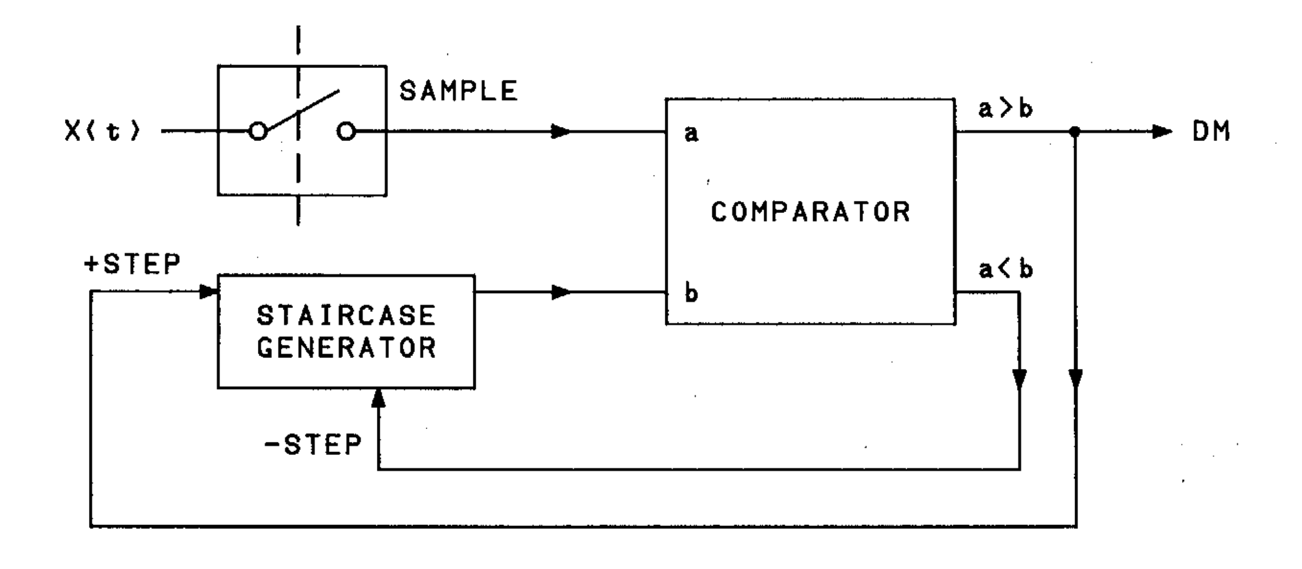


FIG.7 - DELTA MODULATOR

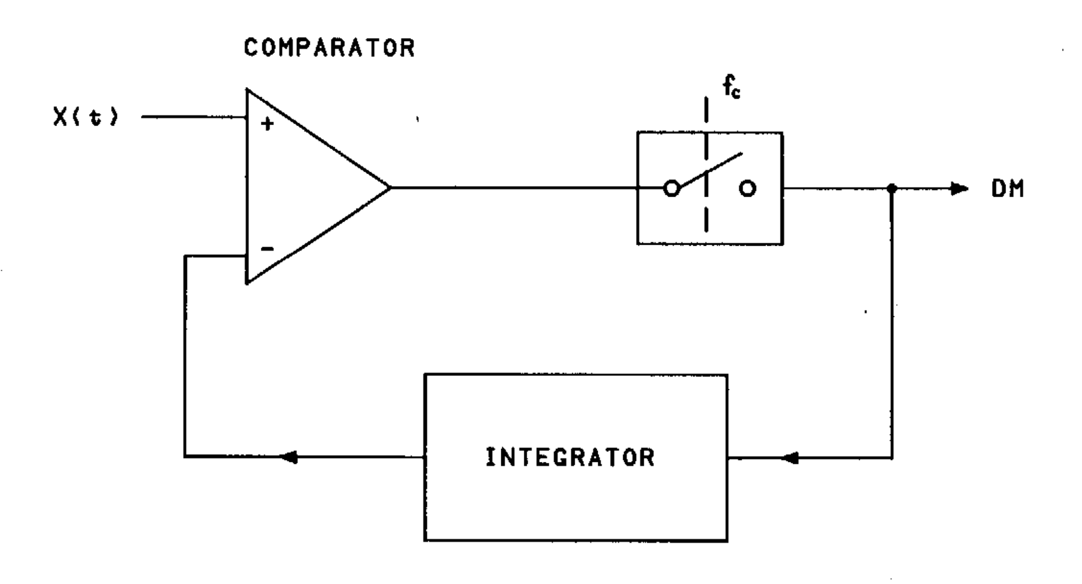


FIG.8 - ANOTHER TYPE OF DELTA MODULATOR

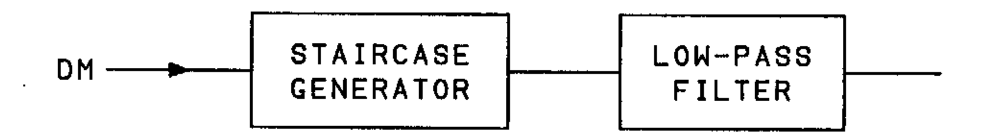


FIG.9 - DELTA MODULATION DEMODULATOR

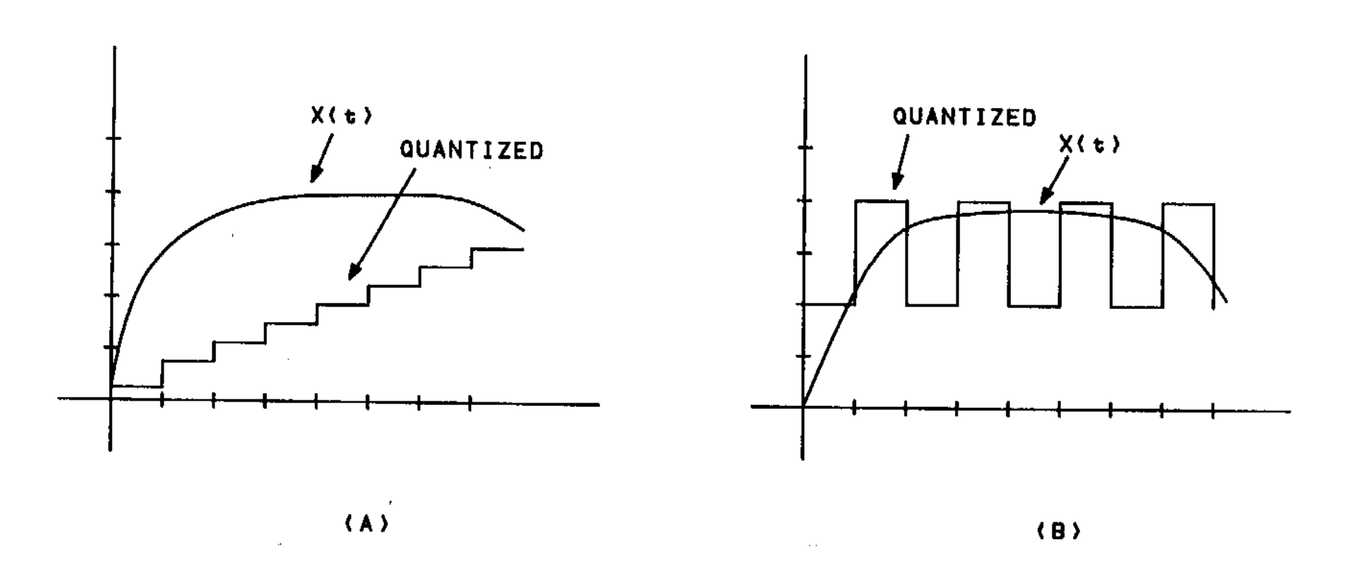


FIG.10 - IMPORTANCE OF PROPER STEP SIZE: (A) STEPS TOO SMALL
(B) STEPS TOO LARGE

Le démodulateur pour une onde modulée en Delta est simplement un générateur d'escalier (ou intégrateur). Si un 1 est reçu, l'escalier s'incrémente positivement. Si un 0 est reçu, l'escalier s'incrément négativement. Le générateur est d'habitude suivi par un filtre passe-bas pour lisser la sortie en escalier dans une fonction continue. Ceci est illustré dans la Fig. 9.

La clé pour une utilisation efficace de la modulation Delta est le choix intelligent des deux paramètres, **dimension de la marche** et **période d'échantillonnage**.
Ceux-ci doivent être choisis de telle sorte que le signal ne peut éventuellement changer trop rapide pour que les marches puissent le suivre soigneusement. Si les marches ne peuvent pas suivre les changements dans le signal, la situation est connue comme une **saturation**.

Puisque le signal a une fréquence de coupure supérieure définissable, nous connaissons la vitesse plus rapide à laquelle il peut changer. Toutefois, pour tenir compte du changement plus rapide possible dans le signal, la fréquence d'échantillonnage et/ou la dimension de la marche doit être augmentée. En augmentant la fréquence d'échantillonnage, la forme d'onde modulée en Delta (codée) aura besoin d'une bande passante plus grande pour la transmission. Par contre, en augmentant la dimension de la marche l'erreur de quantification augmente. Autrement dit, l'approximation de la marche à la fonction devient plus pauvre quand la dimension de la marche augmente. Ceci est plus évident pendant les périodes où la fonction est presque constante. La Figure 10 montre les conséquences d'un mauvais choix de la dimension de la marche.

Comme dans le cas du PCM, l'opération de quantification introduit un terme d'erreur qui ne peut être annulé par traitement au niveau du récepteur.
La différence entre la fonction quantifiée (escalier) et le message original est encore définie comme le bruit de quantification.

Modulation Delta Adaptative (ADM)

Une amélioration des performances est possible sur la modulation Delta de base sans augmenter la bande passante. Cette amélioration est réalisée si la dimension de la marche s'adapte à la situation plutôt que de restant constante. Par conséquent, pendant les périodes où le signal change lentement, la dimension de la marche se réduit, de ce fait réduisant l'erreur de quantification. Pendant les périodes où le signal change rapidement, la dimension de la marche augmente. Un tel système est connu comme **Modulation Delta Adaptative (ADM)**. C'est aussi un type de **Modulation Delta à pente variable (VSDM).** Il est naturellement nécessaire que le récepteur doit être capable de reconstruire la fonction escalier transmise, y comprise la connaissance de la dimension de chaque marche.
Pourtant, le facteur contrôlant la dimension de la marche doit être dérivable sur l'émetteur et le récepteur.

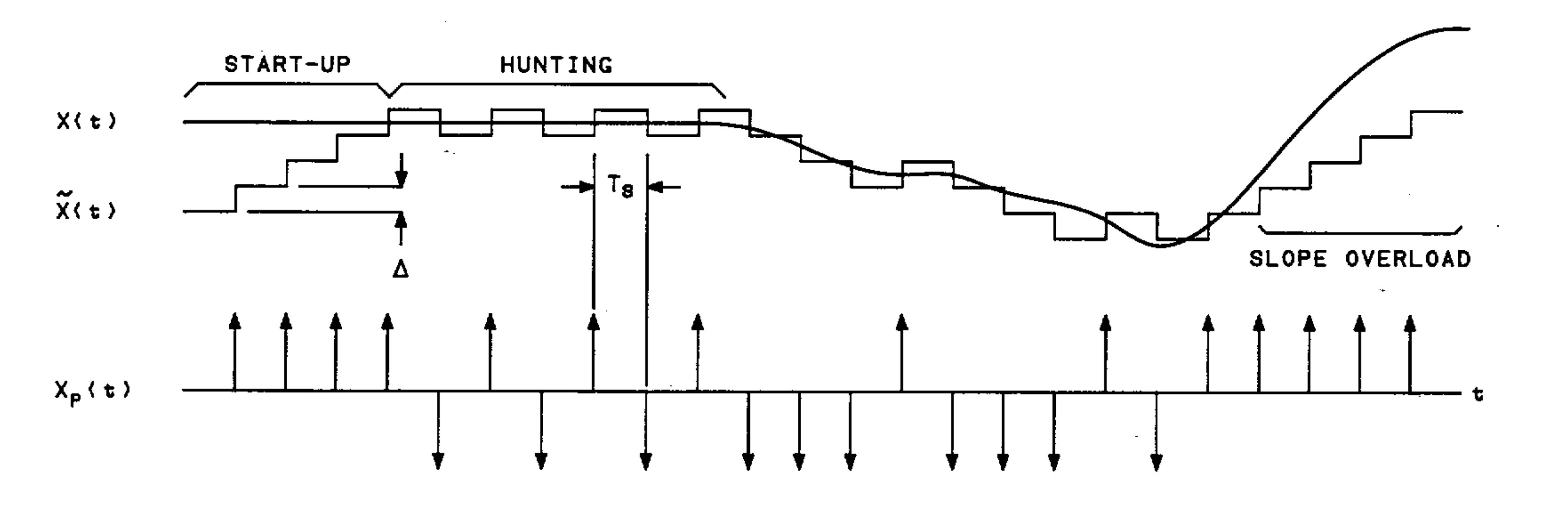


FIG.11 - SUMMARY OF DELTA MODULATION WAVEFORMS

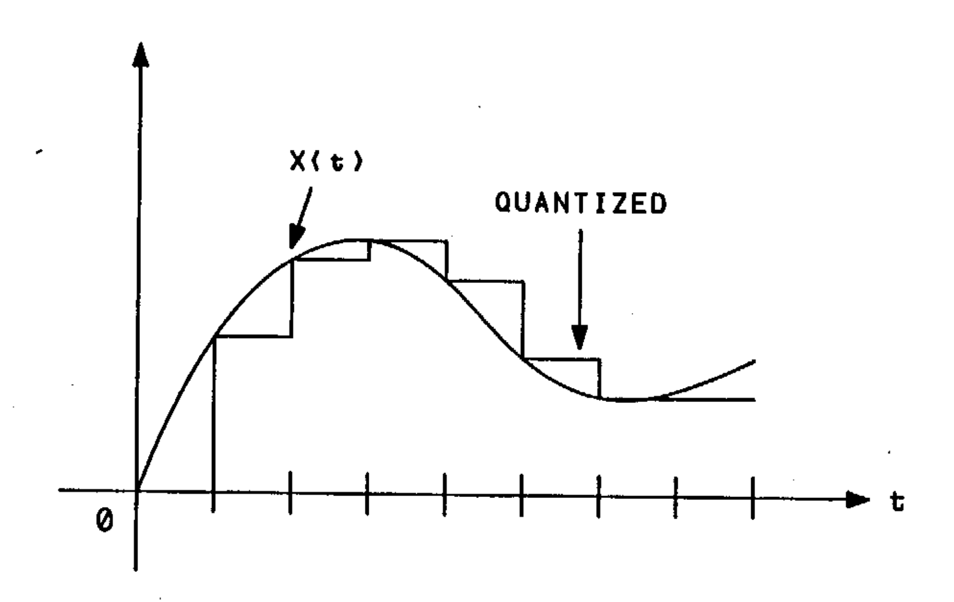


FIG.12 - ADAPTIVE QUANTIZATION EXAMPLE

Pour clarifier ce dernier point, considérer un possible système adaptatif. La dimension de la marche est faite exactement égale à la différence entre la fonction escalier et le signal effectif. Un exemple représentatif est montré dans la Fig. 12.

Considérons un système dont les dimensions des marches dépendent de la séquence de nombres binaires transmis. Nous observons que pendant les périodes de changement lent, la séquence de bits transmis tend à osciller entre 0 et 1 puisque forme d'onde quantifiée compense en permanence pour le dépassement. Pendant les périodes de changement rapide, la fonction escalier cherche de rattraper son retard. Pourtant, le train de bits transmis contient des chaînes soit de 0's que de 1's, selon que la fonction d'origine décroit ou augmente.

La susdite observation est la clé d'un système adaptatif réalisable. Si une chaîne de bits de longueur donnée contient un nombre presque égal de 1's et 0's, la dimension de la marche est réduite. Si le chaîne contient beaucoup plus des 1's que des 0's (ou vice versa), la dimension de la marche augmente. Puisque la dimension de la marche dépend seulement de la séquence des bits, l'exacte même opération adaptative peut être reproduite dans le récepteur.

Le contrôle effectif de la dimension de la marche est effectué par un intégrateur. L'intégrateur somme les bits (0's et 1's) sur une certaine période fixe.
Si la somme s'écarte de la moitié du nombre des bits dans la période, la dimension de la marche est augmentée. Comme la somme se rapproche de la moitié du nombre des bits, la dimension de la marche tend à zéro. Dans la pratique, la somme des bits est traduite dans une tension qui est puis portée dans un amplificateur à gain variable. L'amplification est minimum quand la tension d'entrée correspond à un nombre égal de 1' et 0's dans la période. L'amplificateur contrôle la dimension de la marche.

La DM Adaptative permet une amélioration considérable des performances sur la DM classique. Le débit nécessaire pour la transmission de même qualité d'un signal donné (par exemple le signal téléphonique) est sensiblement réduit (jusqu'à 50%) passant de DM à ADM.

2 - B4330 DESCRIPTION DU SYSTEME

La Figure 13 montre le vue de face de l'unité didactique et le schéma-bloc du système.

La fonction des différents blocs est la suivante:

Dans l'émetteur

Amplificateur d'entrée: il accepte les signaux d'entrée dans la bande de voix (300 à 3000Hz environ) et fournit l'adaptation électrique aux circuits internes. Ce bloc fournit également la limitation d'amplitude (écrêtage) et la limitation de bande passante.

Générateur de synchronisation en Transmission (TX): il fournit les temporisations de base nécessaires pour le fonctionnement de l'émetteur. Pour ce modèle didactique la fréquence TX est variable entre 24KHz à 64KHz environ pour permettre d'étudier les effets de différentes fréquences de transmission sur la qualité de la transmission.

Comparateur: Il compare en permanence le message original (provenant de l'amplificateur d'entrée) avec son approximation en escalier, générée par l'Intégrateur.
La sortie du Comparateur est un niveau logique haut quand le signal d'entrée dépasse en amplitude son approximation en escalier.

Générateur d'impulsions contrôlé: Il peut être essentiellement considéré comme un échantillonneur qui produit une impulsion étroite, positive ou négative selon le niveau logique de l'entrée. La commande d'échantillonnage est fournie par le Générateur de synchronisation TX.
La hauteur de l'impulsion générée par ce bloc est contrôlée par le niveau de tension fourni par le sélecteur montré dans le diagramme.
Le commutateur sélectionne comme source pour le contrôle de la hauteur de l'impulsion soit un potentiomètre (Niveau continu 0 à 7.5V; 0 = hauteur maximum de l'impulsion; 7.5V = hauteur minimum de l'impulsion), ou la sortie d'un contrôleur N/A, qui fait partie du Contrôleur de Pente Variable décrit plus loin. De cette façon manuelle ou automatique on peut expérimenter le contrôle de la hauteur de la marche, ainsi que les effets de la hauteur de la marche sur la qualité de transmission.

Intégrateur: il produit une marche vers le haut ou vers le bas par chaque impulsion d'entrée. Puisque ces dernières sont contrôlées en amplitude aussi la hauteur de la marche de sortie est contrôlée (manuellement, par le potentiomètre, ou automatiquement).

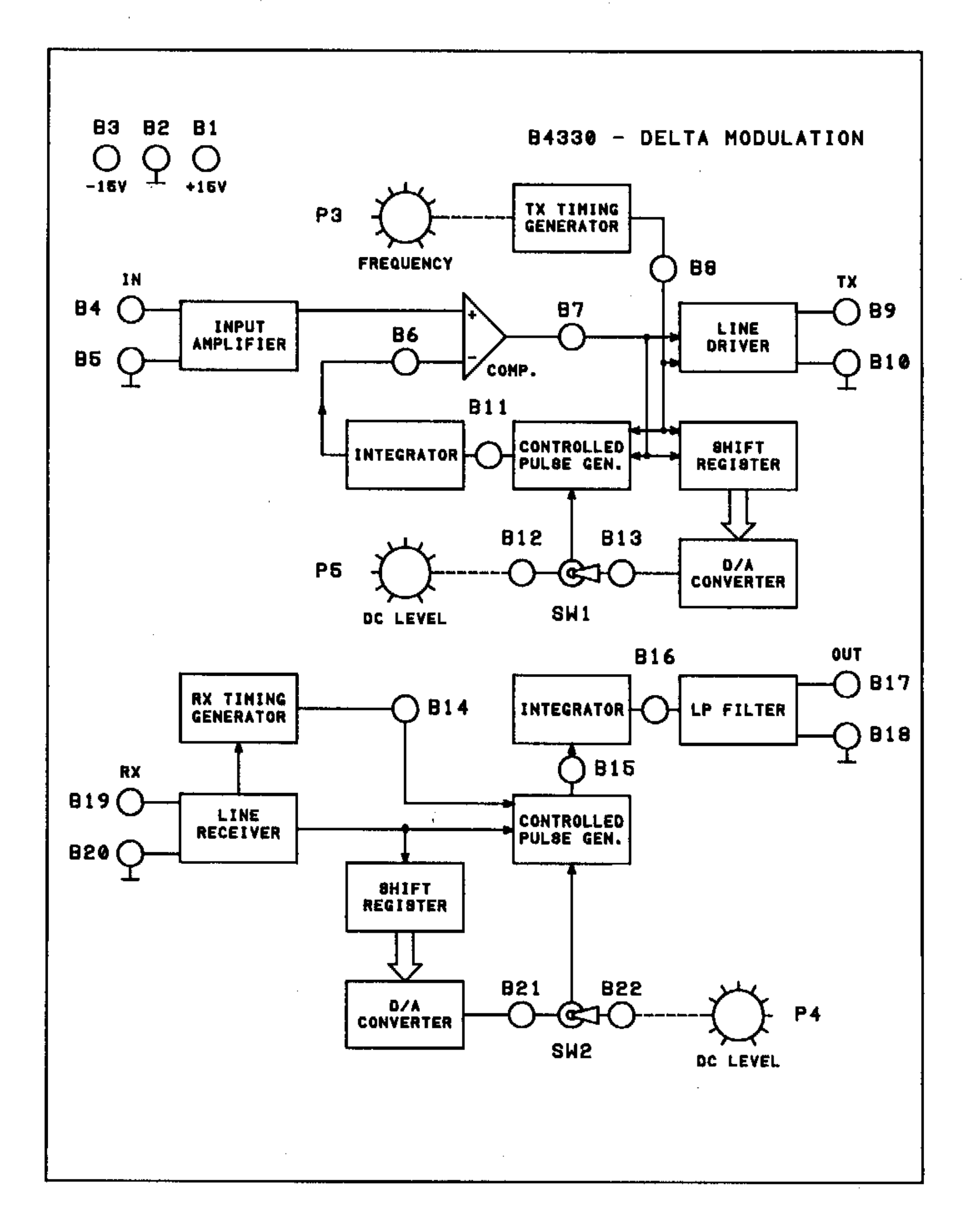
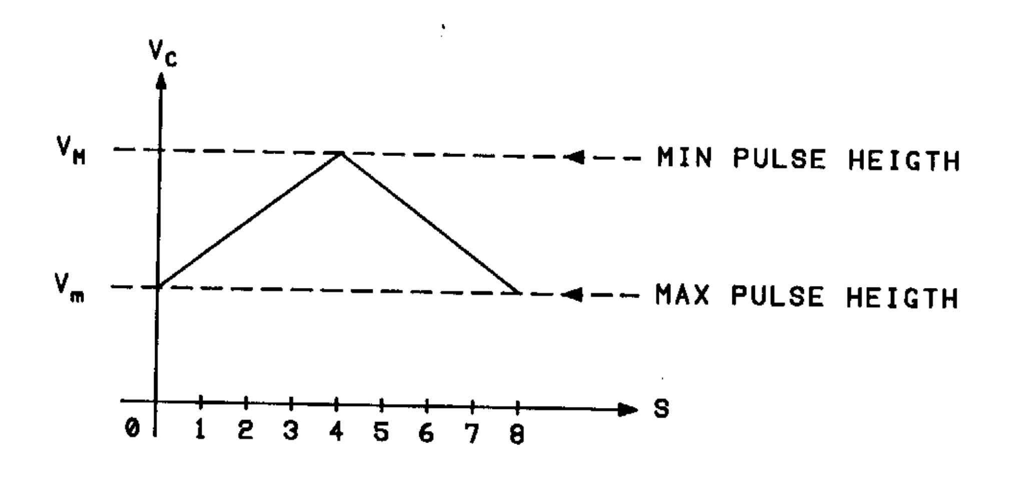


FIG.13 - FRONT VIEW OF THE TRAINER AND BLOCK DIAGRAM

Pilote de ligne: cet étage met en forme les impulsions à envoyer sur la ligne. Ce n'est pas un simple amplificateur, puisque l'impulsion doit être limitée en largeur pour le bon fonctionnement du récepteur. Pour cette raison le pilote de ligne utilise un signal de synchronisation approprié du Générateur d'horloge TX.

Registre à décalage/Convertisseur A/N: ces deux blocs mettent en œuvre le schéma de COMPRESSION/EXPANSION ADAPTATIVE, comme suit:
La sortie du Comparateur est portée au SERIAL DATA IN du registre à décalage. Les données sont décalées à chaque impulsion de synchronisation provenant du générateur d'horloge.
Le Registre à décalage a une capacité de 8-bit. Le résultat de ceci est que la séquence des 8 derniers symboles ("Uns" et "Zéros") produits par le modulateur est mémorisée en ordre. Quand un nouveau bit entre, le bit plus vieux est décalé et est perdu.
Le mot binaire de 8 bits disponible à la sortie parallèle du Registre à Décalage est transformé de façon continue en une valeur analogique, comme indiqué en Figure 14. Cela génère une tension utilisable pour contrôler la hauteur de la marche: la tension de contrôle est maximum (environ 7.5V) quand le nombre de 0's est égal au nombre de 1's, c'est à dire quand le message original est plat ou changeant lentement. Dans ce cas une tension de contrôle élevée produit des impulsions de hauteur minimale à la sortie du Générateur d'Impulsions Contrôlé, c'est à dire des marches de hauteur minimum et l'approximation en escalier suit de près la fonction d'origine.

Quand le nombre de 1's et 0's dans le Registre à décalage est très différent, par exemple tout 1's, cela signifie que le message original a un changement brusque. Le Convertisseur A/N délivre une basse tension de contrôle, ce qui produit des impulsions de grande amplitude à l'entrée de l'intégrateur.
L'Intégrateur produit une approximation en escalier ayant des marches plus hautes. Tout cela dans l'essai de "rattraper" le message d'entrée en évolution rapide et de limiter le phénomène de "saturation de pente".
Evidemment cette action de contre-réaction sur la hauteur de l'impulsion n'est pas d'intervention immédiate, puisque un nombre important de cycles d'échantillonnage (8 max.) doit avoir lieu avant que l'effet maximum soit atteint.
Cela limite le rendement du mode de fonctionnement ADM, qui est toutefois de loin supérieur à la simple DM, comme il sera expérimenté.



S =SUM OF THE 8 LAST BITS TRANSMITTED
V_c =PULSE-HEIGTH CONTROL VOLTAGE

FIG.14 - ADAPTIVE DM: PULSE-HEIGTH CONTROL VOLTAGE AS A FUNCTION OF THE TRANSMITTED BITS

Dans le récepteur

Le récepteur de ligne: il compare le signal entrant à des seuils appropriées et décide si un "1" est entrant ou un "0". Il aussi dérive da la chaîne reçue un signal de synchronisation pour synchroniser le Générateur de timing RX.

Générateur d'impulsions de hauteur contrôlée: ce bloc est le double de celui existant dans l'émetteur. La tension de contrôle peut être générée manuellement par le potentiomètre ou automatiquement.

Registre à décalage/Convertisseur N/A: Ceux-ci permettent au récepteur de travailler en DM Adaptative. Ces blocs sont les jumeaux de ceux correspondants de l'émetteur.

Intégrateur: il reçoit les impulsions étroites du générateur et les traduit dans la réplique en escalier du message d'entrée.

Amplificateur de Sortie/Filtre passe-bas: pour lisser et tamponner le signal passé par l'Intégrateur.

3 - EXERCICES

EXERCICE NO. 1 - FONCTIONNEMENT DE BASE

- Connecter l'unité didactique comme montré dans la Fig. 15.
- Régler la fréquence d'horloge à mi-chemin. Régler les deux commutateurs à levier pour sélectionner le contrôle manuel de la hauteur de l'impulsion (levier vers les potentiomètres).
- Connecter un générateur sinusoïdal réglé à 800Hz et 5Vpp ou moins.
- Brancher un oscilloscope double trace avec Y1 sur le signal d'entrée, trigger sur Y1, et au moyen de la sonde Y2, inspecter, mesurer et enregistrer tous les signaux de l'entrée à la sortie.

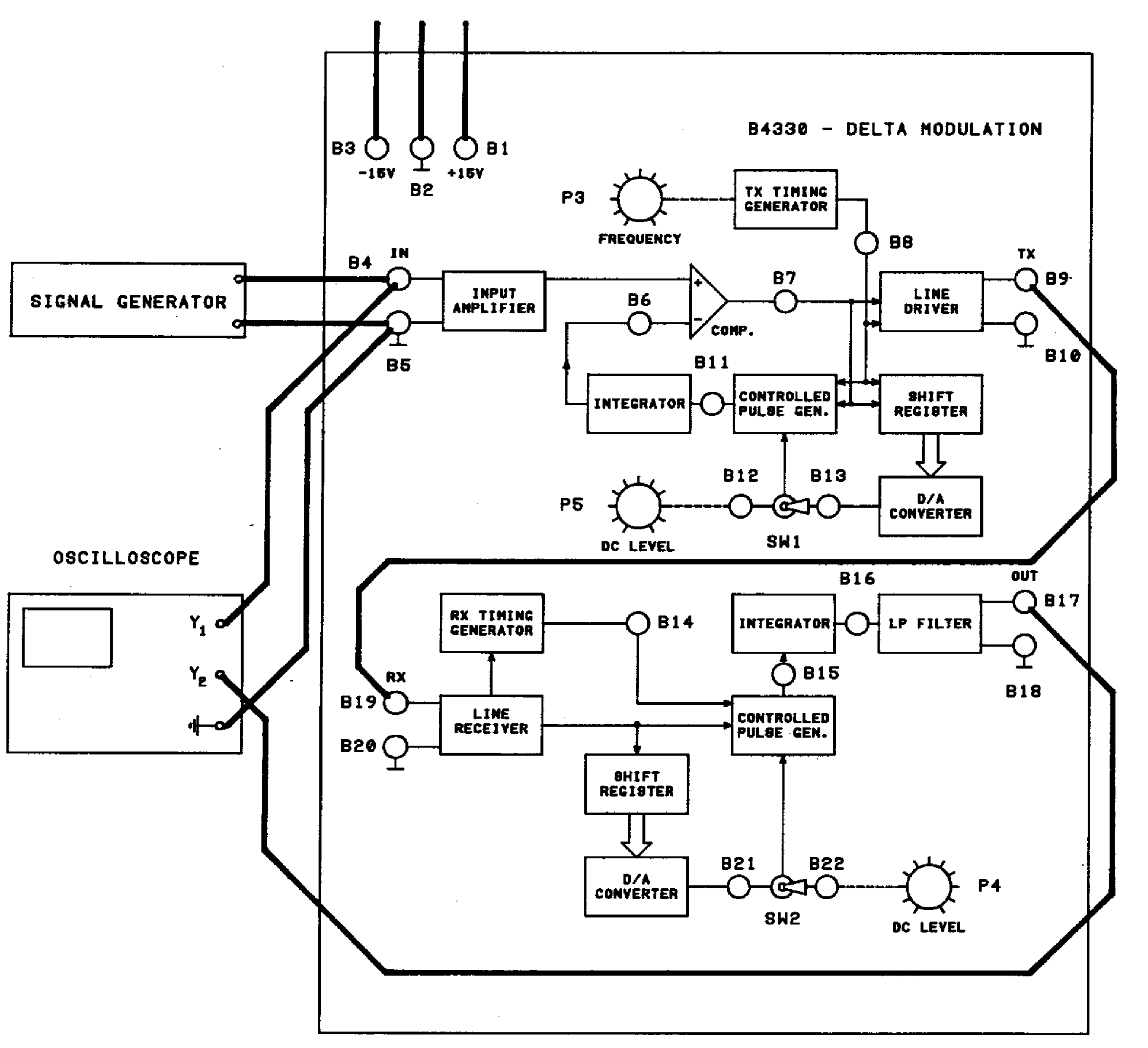


FIG.15 - SETUP FOR WORKSHEETS N.1, N.2, N.3

EXERCICE NO. 2 - QUALITE DE LA TRANSMISSION

- Connecter l'unité didactique comme dans le précédent Exercice.

- Mettre la commande de hauteur d'impulsion sur Manuel. Mettre les deux contrôles c.c. à mi-chemin et la fréquence d'horloge au minimum.

- Appliquer une sinusoïde 5Vpp, 1KHz à l'entrée et observer la sortie de l'intégrateur de l'émetteur (émetteur en premier et ensuite le récepteur) pour le phénomène de saturation de pente.

- Notez vos observations sur la saturation de pente en fonction de:

  * la fréquence d'horloge
  * la hauteur de la marche
  * l'amplitude du signal d'entrée
  * la fréquence du signal d'entrée (balayer de 300 à 3000Hz)

- Appliquer à l'entrée une onde carrée au lieu d'une sinusoïde et répéter vos observations sur la saturation de pente. (vous pouvez limiter cela à la sortie de l'intégrateur de l'émetteur seulement).

- Appliquer une onde triangulaire et, en réglant la fréquence de l'onde, détecter et enregistrer le point où l'approximation de l'escalier commence à s'éloigner de l'onde d'entrée.

- Observer le bruit sans signal en enlevant le générateur et en fermant l'entrée de l'émetteur à la masse.

- Etudier le rapport entre l'amplitude du signal de sortie pour entrée constante (sinusoïde 5Vpp, 800Hz) et l'amplitude de la marche sélectionnée.
  Expliquer pourquoi l'amplitude augmente en tournant le niveau de contrôle c.c. dans le sens horaire dans l'émetteur et pourquoi le contraire se passe en faisant la même chose dans le récepteur.

EXERCICE NO. 3 - MODULATION DELTA ADAPTATIVE

- Préparer l'unité didactique comme montré dans l'Exercice no. 1.

- Appliquer à l'entrée une sinusoïde de 8Vpp, 800Hz. Commuter les deux sélecteurs de niveau pour le contrôle automatique du niveau de l'impulsion.

- Procéder comme dans l'Exercice no. 2, enregistrer vos nouvelles observations et comparer les aux précédentes.

- Mettre la sonde Y1 de l'oscilloscope sur le signal d'entrée et la sonde Y2 sur la sortie du Convertisseur N/A de l'émetteur.
  Pour niveaux d'entrée modérés (faible saturation de pente) le signal Y2 apparaît comme une réplique redressée et de signe inverse du signal d'entrée (à l'exception des tremblements et de l'instabilité dus à l'apparition aléatoire de "1"'s et "0"'s dans la zone des crêtes du signal Y2.
  Pour des niveaux plus élevés des signaux d'entrée, où l'action de la contre-réaction sur la hauteur de la marche devient plus sensible, les formes d'onde Y2 s'écartent de celle d'une sinusoïde redressée pleine onde et commencent à rassembler de plus en plus à des "ondes de la mer", c'est à dire pliées vers l'arrière (plus précisément: on voit une distorsion de troisième harmonique redressée).
  Pouvez-vous rattacher cette distorsion au retard intrinsèque 8-bit dans le registre à décalage générant l'algorithme adaptatif?

  Réviser si nécessaire la description du système (Section 2 de ce manuel) pour aider à la compréhension.

4 - GUIDE DE L'INSTRUCTEUR

1 - Planification

La planification plus rentable du travail de laboratoire avec cette unité didactique est à notre avis après que l'étudiant a acquis des compétences et a compris le matière de la Modulation d'impulsions (B4310A) et la Modulation par impulsions codées (B4310B).
Aussi l'étudiant devrait avoir déjà traité le sujet du point de vue théorique dans le cours de Télécommunications.

2 - Sécurité

L'unité B4330 est fabriquée suivant des normes adéquates en ce qui concerne la sécurité du personnel et de l'appareil lui-même.
Le module est alimenté d'une source de basse tension et de faible puissance. Utiliser l'alimentation B4192 pour une appropriée limitation de courant et protection contre les surcharges.
Les entrées et les sorties du module sont raisonnablement protégées contre des accidents dus à mauvaise manipulation comme des courts-circuits et des potentiels anormaux.